

556,831

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
25 novembre 2004 (25.11.2004)

PCT

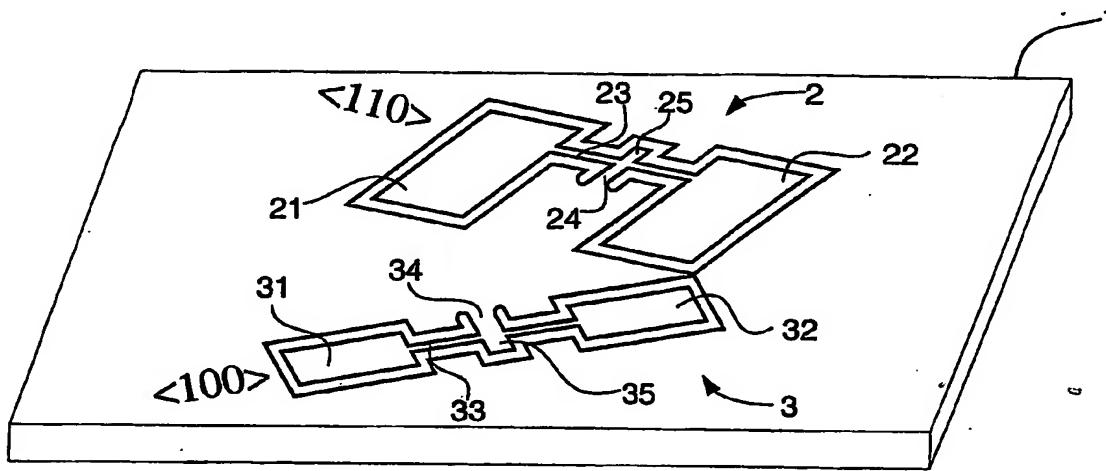
(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/102796 A1

- (51) Classification internationale des brevets⁷ : H03H 9/02, 3/013
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/CH2004/000258
- (22) Date de dépôt international : 28 avril 2004 (28.04.2004)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 03/05833 15 mai 2003 (15.05.2003) FR
- (71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) : CSEM CENTRE SUISSE D'ELECTRONIQUE ET DE MICROTECHNIQUE S.A. [CH/CH]; Recherche et Développement, Rue Jaquet-Droz 1, CH-2007 Neuchâtel (CH).
- (72) Inventeur; et
- (75) Inventeur/Déposant (*pour US seulement*) : BOURGEOIS, Claude [CH/CH]; Ministre 18, CH-2014 Bôle (CH).
- (74) Mandataire : G L N; Gresset & Laesser Neuchâtel, Puits-Godet 8A, CH-2000 Neuchâtel (CH).
- (81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: INTEGRATED RESONATORS AND TIME BASE INCORPORATING SAID RESONATORS

(54) Titre : RESONATEURS INTEGRES ET BASE DE TEMPS INCORPORANT DE TELS RESONATEURS



(57) Abstract: The invention relates to a resonator unit, integrated in a monocrystalline silicon substrate (1), for the production of a temperature-stable time base, comprising at least one first (2) and one second (3) resonator, for oscillation according to different modes and with dimensions such that at least the first thermal coefficient of the frequency difference α is equal to or close to zero. The second thermal coefficient β can also be significantly reduced.

WO 2004/102796 A1

(57) Abrégé : L'invention concerne un ensemble de résonateurs, intégrés dans un substrat de silicium monocristallin (1) et destinés à permettre la réalisation d'une base de temps stable en température, et comprend au moins un premier (2) et un deuxième (3) résonateur prévus pour osciller selon des modes de types différents et avec des dimensions telles qu'au moins le premier coefficient thermique de la différence de leur fréquence α est égal ou proche de zéro. Le deuxième coefficient thermique β peut également être fortement réduit.



ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE; DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*

Résonateurs intégrés et base de temps incorporant de tels résonateurs

La présente invention se rapporte aux résonateurs en 5 général et concerne, plus particulièrement, les résonateurs intégrés en silicium monocristallin, permettant la réalisation d'une base de temps stable en température, ainsi qu'une base de temps réalisée avec de tels résonateurs.

Le quartz est certainement le matériau le plus utilisé pour la fabrication de résonateurs car c'est l'un des rares cristaux connus qui permette l'annulation, à température ambiante, du premier coefficient thermique de la fréquence par un choix approprié des angles de coupe des résonateurs. De plus, la compensation des dérives thermiques, dues aux coefficients d'ordres plus élevés, est également possible par une adaptation de la géométrie même de ces résonateurs. Enfin, le quartz est également piézoélectrique, ce qui permet une excitation directe des modes de vibration choisis. Bien que le quartz reste un matériau de choix pour la réalisation de structures résonantes, il existe, toutefois, une demande de plus en plus forte pour l'intégration de telles structures dans un substrat de silicium; matériau utilisé pour les circuits intégrés ainsi que pour un nombre croissant de structures de type "MEMS" (Micro-Electro-Mechanical Systems).

25

Un exemple de résonateur intégré dans un substrat de silicium monocristallin peut être trouvé dans la demande de brevet européen EP 079 59 53. Les coefficients thermiques de la

fréquence d'un tel résonateur sont, respectivement, de l'ordre de -30 ppm (parties par million ou 10^{-6}) / °C pour le coefficient de premier ordre α et de -13 ppb (parties par milliard ou 10^{-9}) / °C² pour le coefficient de deuxième ordre β . Pour les compenser, il est
5 proposé d'utiliser un thermomètre, intégré dans le même substrat, agissant sur un circuit d'ajustement de fréquence. Non seulement, une telle méthode de compensation implique un étalonnage de l'ensemble du résonateur et de l'oscillateur après fabrication mais encore, sa précision dépend de celle du thermomètre intégré qui
10 est loin d'être idéale, en particulier, si l'on considère les effets du vieillissement.

Aussi un but de la présente invention est la réalisation de résonateurs intégrés dans un substrat de silicium monocristallin et
15 dont les dérives thermiques peuvent être compensées de manière simple et précise.

Un objet de l'invention est un ensemble de résonateurs, intégrés dans un substrat de silicium monocristallin et destinés à
20 permettre la réalisation d'une base de temps stable en température, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un premier et un deuxième résonateurs prévus pour osciller selon des modes de types différents et avec des dimensions telles qu'au moins le premier coefficient thermique de la différence de leur fréquence est
25 égal ou proche de zéro.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le deuxième coefficient thermique de la différence des fréquences est également rendu proche de zéro par une orientation donnée des résonateurs dans le substrat de silicium.

5

Grâce à ces caractéristiques, la compensation thermique est obtenue par la différence des fréquences de deux résonateurs oscillant sur des modes de types différents, cette différence pouvant être rendue indépendante de la température.

10

L'ensemble de résonateurs selon l'invention possède encore toutes ou certaines des caractéristiques énoncées ci-après:

- ledit premier résonateur est prévu pour osciller selon un mode d'allongement;
- ledit deuxième résonateur est prévu pour osciller selon un mode de cisaillement de surface;
- lesdits premier et second résonateurs ont, chacun, une structure symétrique constituée par un bras central reliant deux plaques rectangulaires, lesdits résonateurs pouvant être tenus au niveau de la partie médiane desdits bras centraux;
- lesdits résonateurs comportent des moyens d'excitation piézoélectrique;
- lesdits moyens d'excitation piézoélectrique comprennent une couche d'AIN déposée sur lesdits bras centraux et des électrodes permettant de contacter ladite couche d'AIN;

le substrat de silicium est dopé et constitue l'une des électrodes desdits moyens d'excitation piézoélectrique.

5 D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description suivante faite à titre d'exemple non limitatif et en relation avec les dessins annexés dans lesquels:

- 10 - la figure 1 montre un ensemble de deux résonateurs selon l'invention réalisés dans une plaque de silicium monocristallin d'orientation {001};
- 15 - les figures 2.a et 2.b montrent les variations des premiers et deuxièmes coefficients thermiques, respectivement, des résonateurs de la figure 1 en fonction de l'orientation de ces derniers;
- 20 - la figure 3 représente les géométries des dépôts d'AIN et des électrodes sur le résonateur 3 de la figure 1;
- la figure 4 montre une vue en coupe du résonateur de la figure 3; et

la figure 5 est un exemple de circuit permettant d'extraire la différence des fréquences des résonateurs de l'invention.

- 5 Les deux résonateurs 2 et 3 de la figure 1 oscillent selon des modes dits "modes de contour"; ce qui signifie qu'ils se présentent sous la forme de plaques minces vibrant dans leur plan et dont la fréquence est indépendante de l'épaisseur desdites plaques. Leur structure correspond à deux plaques rectangulaires 21, 22, 31, 32
- 10 reliées par un bras central 23, 33, lui-même connecté au substrat 1 de silicium monocristallin par l'intermédiaire d'un bras de fixation 24, 34. Une zone rectangulaire 25, 35, située dans le prolongement du et opposée au bras de fixation, a pour but de symétriser l'ensemble de chaque résonateur et, par suite, ses
- 15 déformations en contrebalançant l'évanescence dans la zone d'encastrement et ce, dans le but d'atteindre des facteurs de qualité élevés. Dans l'exemple décrit, le résonateur 2 est prévu pour osciller selon un mode de Lamé; l'onde de cisaillement qui lui est associée se propageant selon les diagonales des carrés
- 20 inscrits dans les plaques 21 et 22, et il est orienté selon la direction <110> du substrat, tandis que le résonateur 3, avec son axe longitudinal en ligne avec la direction <100> du substrat, est prévu pour osciller selon un mode d'allongement de son bras central 33.
- 25 Conformément à l'invention, la compensation thermique est obtenue par la différence des fréquences de deux résonateurs

oscillant selon des modes différents. La fréquence du résonateur 2 peut s'exprimer sous la forme:

$$F_1 = F_{10} (1 + \alpha_1 \cdot \Delta T + \beta_1 \cdot \Delta T^2 + \gamma_1 \cdot \Delta T^3 + \dots),$$

5

où F_{10} est la fréquence propre du résonateur 2, ΔT est la variation de température et α_1 , β_1 , γ_1 sont les coefficients thermiques de la fréquence F_1 de premier, deuxième et troisième ordres, respectivement.

10

La fréquence du résonateur 3 peut, de même, s'exprimer sous la forme:

$$F_2 = F_{20} (1 + \alpha_2 \cdot \Delta T + \beta_2 \cdot \Delta T^2 + \gamma_2 \cdot \Delta T^3 + \dots),$$

15

où F_{20} est la fréquence propre du résonateur 3, ΔT est la variation de température et α_2 , β_2 , γ_2 sont les coefficients thermiques de la fréquence F_2 de premier, deuxième et troisième ordres, respectivement.

20

La différence des fréquences F_{12} peut donc s'écrire:

$$F_{12} = F_1 - F_2 = (F_{10} - F_{20}) (1 + \alpha \cdot \Delta T + \beta \cdot \Delta T^2 + \gamma \cdot \Delta T^3 + \dots)$$

avec:

25

$$\alpha = \frac{F_{10} \cdot \alpha_1 - F_{20} \cdot \alpha_2}{F_{10} - F_{20}},$$

$$\beta = \frac{F_{10} \cdot \beta_1 - F_{20} \cdot \beta_2}{F_{10} - F_{20}},$$

et

$$\gamma = \frac{F_{10} \cdot \gamma_1 - F_{20} \cdot \gamma_2}{F_{10} - F_{20}}.$$

5 La compensation du premier coefficient thermique se fait alors en posant:

$$F_{10} \cdot \alpha_1 - F_{20} \cdot \alpha_2 = 0 \text{ soit, } \frac{F_{10}}{F_{20}} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1},$$

le deuxième coefficient thermique étant alors égal à:

$$10 \quad \beta = \frac{\alpha_2 \beta_1 - \alpha_1 \beta_2}{\alpha_2 - \alpha_1}$$

L'équation ci-dessus montre que le contrôle de β est d'autant meilleur que α_1 et α_2 sont différents l'un de l'autre. Afin d'optimiser le contrôle de l'annulation du premier coefficient thermique α de la différence de fréquence F_{12} , les modes de vibration des deux résonateurs 2 et 3 sont choisis de telle sorte que les coefficients thermiques du premier ordre qui leur sont associés soient aussi différents que possible l'un de l'autre. C'est ainsi que selon une variante avantageuse de l'invention, le mode de vibration du premier résonateur est un mode de cisaillement de surface, soutenu par un mode de Lamé, tandis que le mode de vibration du second est un mode d'allongement. La précision du premier coefficient thermique α dépend du rapport des fréquences des deux résonateurs, soit d'un rapport dimensionnel entre ces

derniers et non de leurs dimensions absolues. Comme les deux résonateurs sont réalisés sur le même substrat, ce premier coefficient thermique est de fait peu sensible à des effets de sous-attaque ou à des erreurs de découpe.

5

L'expression du deuxième coefficient thermique β de la différence de fréquence F_{12} montre que celui-ci peut être annulé, ou fortement réduit, en choisissant un rapport de $\frac{\beta_1}{\beta_2}$ égal au, ou proche du, rapport $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$. Cette condition peut être réalisée par un choix

10 judicieux des orientations des deux résonateurs. Les figures 2.a et 2.b montrent, pour les deux modes de vibration choisis, les variations des premiers et seconds coefficients thermiques α_1 et α_2 , β_1 et β_2 , respectivement, en fonction des orientations des résonateurs. Si les coefficients thermiques du premier ordre varient
15 peu avec l'orientation, il n'en est pas de même des coefficients du deuxième ordre et on peut voir que la condition précédemment indiquée peut être réalisée lorsque les orientations des résonateurs forment, l'une par rapport à l'autre, un angle d'environ 45°, les ondes de cisaillement et d'allongement se propageant,
20 alors, selon la direction <100>.

Les structures planaires, avec des zones d'évanescence équilibrées, et les modes de vibration envisagés des résonateurs permettent d'obtenir des facteurs de qualité élevés; ce qui rend
25 possible la réalisation de bases de temps (résonateurs et

- oscillateurs) à faible consommation. Par ailleurs, afin d'atténuer fortement le couplage avec les modes de vibration à plus basse fréquence, le résonateur 2 peut être réalisé en ayant des masses 21 et 22 sous la forme d'un empilage (au moins deux) de plaques carrées sans, toutefois, que cela modifie la fréquence du mode de Lamé. Il s'agit là d'une propriété des modes de Lamé qui peut être mise à profit pour augmenter l'efficacité de l'ensemble résonateur et oscillateur.
- De manière connue, l'excitation des résonateurs peut être faite par un couplage de type électrostatique ou de type piézoélectrique. Selon une variante avantageuse de l'invention, ceux-ci sont excités par effet piézoélectrique, par exemple, par l'intermédiaire d'une couche de nitrure d'aluminium (AlN). Comme indiqué sur la figure 3 représentant, par exemple, le résonateur 3, le couplage piézoélectrique est réalisé par un dépôt d'AlN 40 dans la région centrale du bras, à l'endroit où les déformations d'allongement sont les plus importantes. Cette zone rectangulaire d'environ 225 µm x 950 µm se prolonge le long du bras de fixation 24 par l'intermédiaire d'une bande mince 41 jusqu'à une zone de connexion 42, ayant à peu près 120 µm de côté et sur laquelle peut être soudé un fil de connexion. Comme représenté sur la vue en coupe, selon l'axe A-A de la figure 3, de la figure 4, la couche 40 de nitrure d'aluminium est recouverte d'une couche d'aluminium 43, couche qui est également déposée directement sur le substrat pour former les plots 45 de connexion à ce dernier. Dans le cas où le silicium formant substrat ne serait pas dopé, il y aurait lieu de

prévoir une seconde électrode entre le substrat et la couche de nitrate d'aluminium. Cette seconde électrode est, de préférence, réalisée en platine; matériau se prêtant particulièrement bien à la croissance du nitrate d'aluminium. La figure 4 montre également le
5 fait que le substrat est, en fait, une plaque de silicium 10 dont la face inférieure est en oxyde de silicium. De telles plaques, appelées "SOI" ce qui signifie silicium sur isolant, ont déjà l'épaisseur voulue. Comme cela a été mentionné précédemment, l'épaisseur des résonateurs est un paramètre relativement libre qui
10 est déterminé en fonction de l'application. Ainsi une épaisseur élevée permet d'avoir une résistance aux chocs élevée et un effet réduit de couplage avec d'autres modes de vibration hors du plan alors qu'une faible épaisseur permet un fort couplage piézoélectrique et donc, une faible consommation de l'oscillateur.
15 A titre d'exemple non limitatif, les résonateurs ont une épaisseur d'environ 50 µm.

Les étapes de fabrication des résonateurs sont données ci-après à titre d'exemple non limitatif:

- Dépôt, par pulvérisation, d'une couche d'environ 100 nm de platine (Pt) sur la face supérieure (A) du substrat de silicium;
- Structuration de la couche de platine, par photolithographie et gravure plasma, pour la réalisation des premières électrodes;
- Dépôt, par pulvérisation, d'une couche de nitrate d'aluminium (quelques µm);

- Dépôt, par pulvérisation, d'une couche (environ 100 nm) d'aluminium et usinage sélectif de cette couche pour la réalisation des deuxièmes électrodes;
- Gravure de la couche d'AIN pour définir les zones d'excitation piézoélectrique;
- Attaque rapide par plasma ("Deep Reactive Ion Etching") de la face A pour définir la géométrie des résonateurs;
- Eventuellement, découpe des résonateurs par sciage; et
- Mise sous vide et connexion des résonateurs à leur circuit associé.

A titre indicatif, les paramètres des résonateurs sont indiqués ci-après.

Pour le résonateur 2,

- dimensions des plaques: 2X1mm;
- longueur du bras central: 1mm;
- fréquence: \approx 4 MHz.

Pour le résonateur 3,

- longueur hors tout: 2,5mm;
- longueur du bras central: 1,2mm;
- fréquence: \approx 1 MHz.

Un exemple de circuit permettant de délivrer une fréquence stable en température à partir des résonateurs décrits ci-dessus est schématiquement représenté à la figure 5. Le bloc 200 représente l'ensemble du résonateur 2 et de l'oscillateur qui lui est associé et le bloc 300 représente l'ensemble du résonateur 3 et de

l'oscillateur qui lui est associé. Le bloc 200 délivre un signal à la fréquence F_1 et le bloc 300 délivre un signal à la fréquence F_2 , la fréquence F_1 étant, selon l'exemple décrit où les deux résonateurs ont des dimensions semblables, plus élevée
5 (d'environ 4 fois) que la fréquence F_2 . La fréquence F_1 est donc divisée par un circuit diviseur de fréquence 400, lequel fournit un signal à la fréquence $\frac{F_1}{N}$, où N est un nombre entier (égal à 4 dans l'exemple considéré), qui représente le rapport de division du circuit diviseur 400. Les signaux issus du bloc 300 et du circuit
10 diviseur 400 sont appliqués au circuit 500 qui fournit la différence $F_2 - \frac{F_1}{N}$. Comme indiqué précédemment, cette différence de fréquence est indépendante de la variation de température et peut donc servir à réaliser une base de temps intégrée, stable et précise et pouvant être utilisée dans beaucoup d'applications, en
15 particulier, des applications portables.

Bien que la présente invention ait été décrite en relation avec des exemples de réalisation particuliers, on comprendra qu'elle est susceptible de modifications ou variantes sans pour autant sortir
20 de son domaine. Ainsi, si le silicium a été retenu pour la présente description, les résonateurs de l'invention pourraient être réalisés dans d'autres monocristaux. De même, les modes de vibration choisis ne doivent être considérés qu'à titre d'exemples non limitatifs.

Revendications

1. Ensemble de résonateurs intégrés dans un monocristal (1) et destinés à permettre la réalisation d'une base de temps stable en température, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un premier (2) et un deuxième (3) résonateurs prévus pour osciller selon des modes de types différents et avec des dimensions telles qu'au moins le premier coefficient thermique de la différence de leur fréquence α est égal ou proche de zéro.
5
- 10
2. Ensemble de résonateurs selon la revendication 1, caractérisé en ce ledit monocristal est du silicium.
- 15
3. Ensemble de résonateurs selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits premier et deuxième résonateurs sont orientés selon un angle tel que le deuxième coefficient thermique de ladite différence de fréquence β est égal ou proche de zéro.
20
4. Ensemble de résonateurs selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit premier résonateur (2) est prévu pour osciller selon un mode d'allongement.
- 25
5. Ensemble de résonateurs selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ledit deuxième résonateur (3) est prévu pour osciller selon un mode de Lamé.

6. Ensemble de résonateurs selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdits premier et second résonateurs ont, chacun, une structure symétrique constituée par un bras central (23, 33) reliant deux plaques rectangulaires (21, 22 et 31, 32), lesdits résonateurs pouvant être tenus au niveau de la partie médiane (24, 34) desdits bras centraux.
- 5
- 10 7. Ensemble de résonateurs selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdits résonateurs comportent des moyens d'excitation piézoélectrique.
- 15 8. Ensemble de résonateurs selon la revendication 7, caractérisé en ce que lesdits moyens d'excitation piézoélectrique comprennent une couche d'AIN (40) déposée sur lesdits bras centraux et des électrodes (43, 45) permettant de contacter ladite couche d'AIN, d'une part, et le substrat de silicium, d'autre part.
- 20
- 25 9. Ensemble de résonateurs selon la revendication 8, caractérisé en ce que le substrat de silicium est dopé et constitue l'une des électrodes desdits moyens d'excitation piézoélectrique.

10. Base de temps compensée en température, caractérisée en ce qu'elle comprend un ensemble de résonateurs selon l'une quelconque des revendications précédentes, des moyens pour exciter et entretenir leur oscillation (200, 300) et des moyens (400, 500) pour engendrer un signal stable en température représentatif de la différence des fréquences d'oscillation desdits résonateurs.
11. Base de temps selon la revendication 10, caractérisée en ce qu'un des deux résonateurs a une fréquence d'oscillation beaucoup plus grande que celle de l'autre et lesdits moyens pour engendrer un signal stable en température comportent, en outre, un circuit diviseur de fréquence (400) pour réduire la fréquence la plus élevée avant d'effectuer ladite différence des fréquences d'oscillation.

1/2

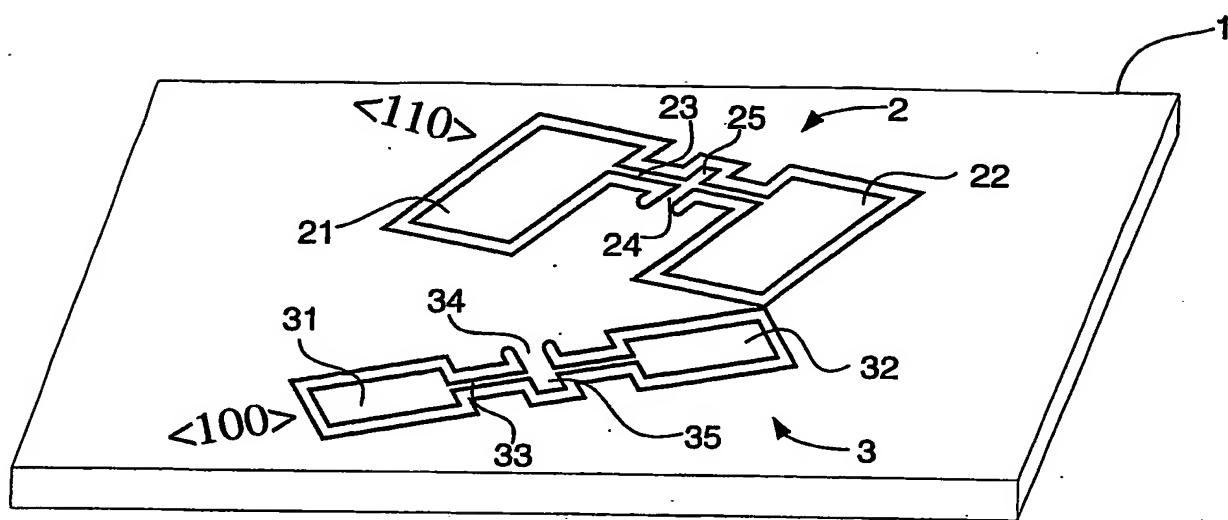


Fig. 1

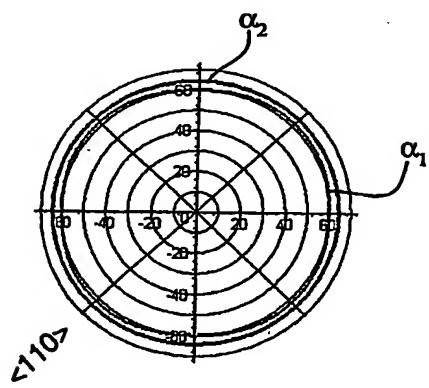


Fig. 2.a

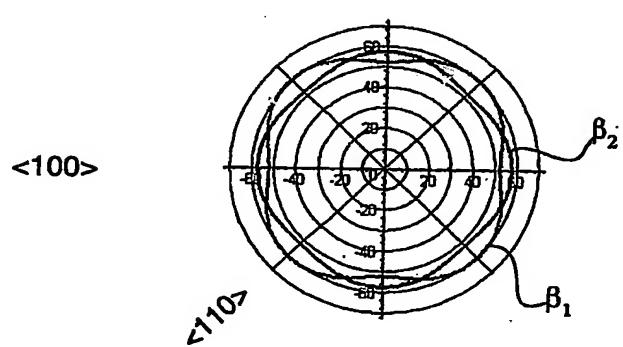


Fig. 2.b

2/2

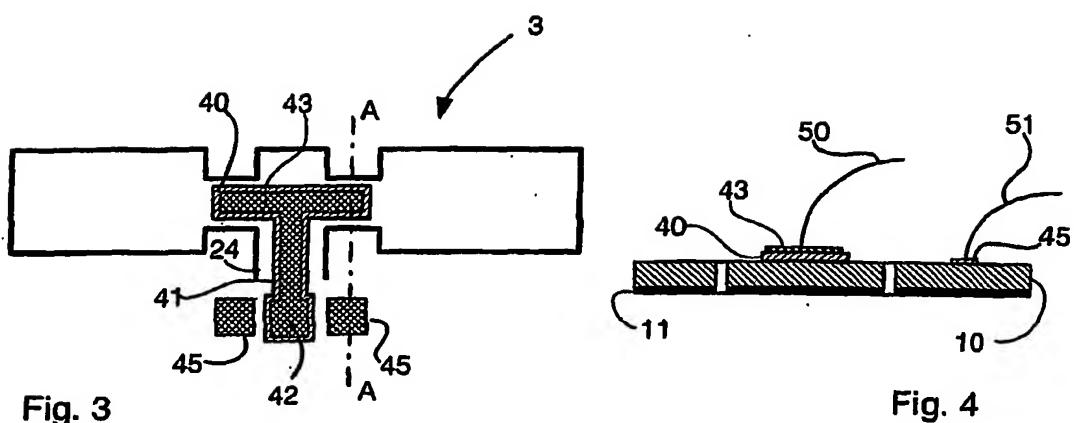


Fig. 3

Fig. 4

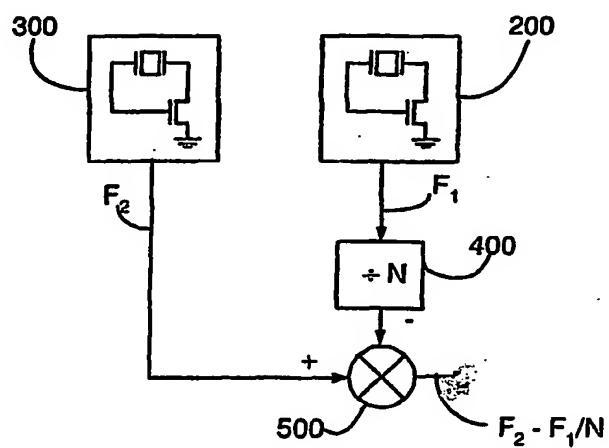


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/CH2004/000258

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 H03H9/02 H03H3/013

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>VEIS J: "Temperature compensation of silicon resonant pressure sensor" SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 57, no. 3, 1 December 1996 (1996-12-01), pages 179-182, XP004081077 ISSN: 0924-4247 figure 2 abstract page 179, left-hand column, lines 12-20 page 179, right-hand column, lines 8-11 page 181, right-hand column, line 15 - page 182, left-hand column, line 2</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	1-11

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

13 August 2004

Date of mailing of the International search report

20/08/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patenttaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Plathner, B-D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/CH2004/000258

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>BOURGEOIS C ET AL: "Design of resonators for the determination of the temperature coefficients of elastic constants of monocrystalline silicon" FREQUENCY CONTROL SYMPOSIUM, 1997., PROCEEDINGS OF THE 1997 IEEE INTERNATIONAL ORLANDO, FL, USA 28-30 MAY 1997, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 28 May 1997 (1997-05-28), pages 791-799, XP010257368 ISBN: 0-7803-3728-X abstract figures 2-4</p>	1-11
A	<p>J J YAO, N C MACDONALD: "A micromachined, single-crystal silicon, tunable resonator" J. MICROMECH. MICROENG., vol. 5, no. 3, 28 May 1997 (1997-05-28), - September 1995 (1995-09) pages 257-264, XP002258605 figure 3 abstract</p>	1-11
A	<p>WO 03/017482 A (UNIV MICHIGAN ;HSU WAN-THAI (US); NGUYEN CLARK T C (US)) 27 February 2003 (2003-02-27) abstract; figures 1,2</p>	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/CH2004/000258

Patent document cited in search report	Publication date		Patent family member(s)	Publication date
WO 03017482	A	27-02-2003	CA 2457121 A1	27-02-2003
			EP 1417754 A1	12-05-2004
			WO 03017482 A1	27-02-2003
			US 2003051550 A1	20-03-2003

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/CH2004/000258

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H03H9/02 H03H3/013

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H03H

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>VEIS J: "Temperature compensation of silicon resonant pressure sensor" SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 57, no. 3, 1 décembre 1996 (1996-12-01), pages 179-182, XP004081077 ISSN: 0924-4247 figure 2 abrégé page 179, colonne de gauche, ligne 12-20 page 179, colonne de droite, ligne 8-11 page 181, colonne de droite, ligne 15 - page 182, colonne de gauche, ligne 2</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	1-11

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant lever un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

T document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

X document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

Y document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

& document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

13 août 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

20/08/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Plathner, B-D

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No
PCT/CH2004/000258

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	BOURGEOIS C ET AL: "Design of resonators for the determination of the temperature coefficients of elastic constants of monocrystalline silicon" FREQUENCY CONTROL SYMPOSIUM, 1997., PROCEEDINGS OF THE 1997 IEEE INTERNATIONAL ORLANDO, FL, USA 28-30 MAY 1997, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 28 mai 1997 (1997-05-28), pages 791-799, XP010257368 ISBN: 0-7803-3728-X abrégé figures 2-4	1-11
A	J J YAO, N C MACDONALD: "A micromachined, single-crystal silicon, tunable resonator" J. MICROMECH. MICROENG., vol. 5, no. 3, 28 mai 1997 (1997-05-28), - septembre 1995 (1995-09) pages 257-264, XP002258605 figure 3 abrégé	1-11
A	WO 03/017482 A (UNIV MICHIGAN ; HSU WAN-THAI (US); NGUYEN CLARK T C (US)) 27 février 2003 (2003-02-27) abrégé; figures 1,2	1-11

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/CH2004/000258

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 03017482	A 27-02-2003	CA 2457121 A1	27-02-2003
		EP 1417754 A1	12-05-2004
		WO 03017482 A1	27-02-2003
		US 2003051550 A1	20-03-2003